

N° d'enregistrement
au C.N.R.S.
A.O. 5830

ARTICLE PRINCIPAL

Recouvrant en tout

LA THESE DE DOCTORAT ES-SCIENCES NATURELLES

présentée

A L'UNIVERSITE PARIS VI

par

M. André RAMPON

pour obtenir

le grade de Docteur Es-Sciences

Sujet de la Thèse : CONTRIBUTION A L'ETUDE PEDOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DE
LA BRETAGNE CENTRALE – LE BLAVET ET SES AFFLUENTS

soutenue le : 14 juin 1971

devant la Commission d'Examen

MM. L. GLANGEAUD *Président*

G. LUCAS

G. CASTANY

G. AUBERT

J. MICHET

} *Examineurs*

} *Invité*



LES SCIENCES DE LA TERRE DANS L'ÉTUDE DES BASSINS VERSANTS REPRÉSENTATIFS LE BLAVET EN BRETAGNE CENTRALE

par A. RAMPON*

RESUME. — L'étude ci-après s'inscrit dans le cadre de l'aspect régional du problème de l'eau; elle visait également l'extrapolation des résultats à la Bretagne et l'extension du principe d'étude à des territoires plus vastes.

Lithologie, tectonique, géomorphologie, pédologie, climatologie, hydrogéochimie, hydrogéologie *sensu stricto* (géohydrologie) et hydrologie de surface, permettent d'élaborer et d'interpréter le bilan de l'eau d'une manière nouvelle. Les considérations et les mesures qui relèvent des sciences de la terre conduisent ainsi, entre autres, à la détermination de coefficients géopédologiques en région cristalline qui donnent — à partir de la pluviométrie annuelle — le volume des réserves hydrogéologiques non permanentes pendant la période critique de l'été.

ABSTRACT. — The present study is to be included in the frame of the regional aspect of water problem. It aims also at the extrapolation of results to Brittany and at the extension of the study principle to wider areas.

Lithology, Tectonics, Geomorphology, Pedology, Climatology, Hydrogeochemistry, Hydrogeology *sensu stricto* (geohydrology) and Hydrology of surface allow to elaborate and to explain the water inventory in a new way. Thus considerations and measurements referable to earth sciences lead, among other things, to the determination of geopedology coefficients in crystalline area, which give the volume, from annual pluviometry, of hydrogeological no permanent water resources, during the summer critical period.

Nous avons été chargé de l'étude hydrogéologique du bassin versant du Blavet dans le cadre régional du problème de l'eau, mais également dans le but d'en extrapoler les résultats à la Bretagne et d'en étendre le principe d'étude à des territoires différents.

Il s'agissait :

- sur le plan de l'hydrogéologie appliquée, d'évaluer d'une manière rapide et sur des bases simples les ressources en eau d'un bassin pendant la période critique de l'été;
- sur le plan de la Recherche scientifique, de mener une étude type essentiellement basée sur l'aspect géopédologique du problème et de montrer par cet exemple les solutions originales que l'on peut en attendre.

Il nous paraît nécessaire de préciser, pour évoquer les disciplines traitées et l'analyse des

termes du bilan, que nous avons rendu compte¹ de cette étude par les chapitres suivants : Lithologie, Tectonique, Géomorphologie, Pédologie, Climatologie, Hydrogéochimie, Hydrogéologie, Hydrologie-Bilan.

Nous nous contenterons ici d'un exposé plus synthétique dont les grandes lignes seront :

Première partie :

Structure des bassins versants :

- Microstructure,
- Architecture (macrostructure).

Deuxième partie :

L'eau dans les bassins versants :

- Climatologie,
- L'eau souterraine,
- Les bilans.

* C.E.R.A.F.E.R. de Paris-Antony.

1. « Contribution à l'étude pédologique et hydrogéologique de la Bretagne centrale — Le Blavet et ses affluents » — Thèse d'Etat, Paris — Nous exprimons notre reconnaissance au jury, MM. L. Glangeaud, G. Lucas, G. Castany, G. Aubert, J. Michet.

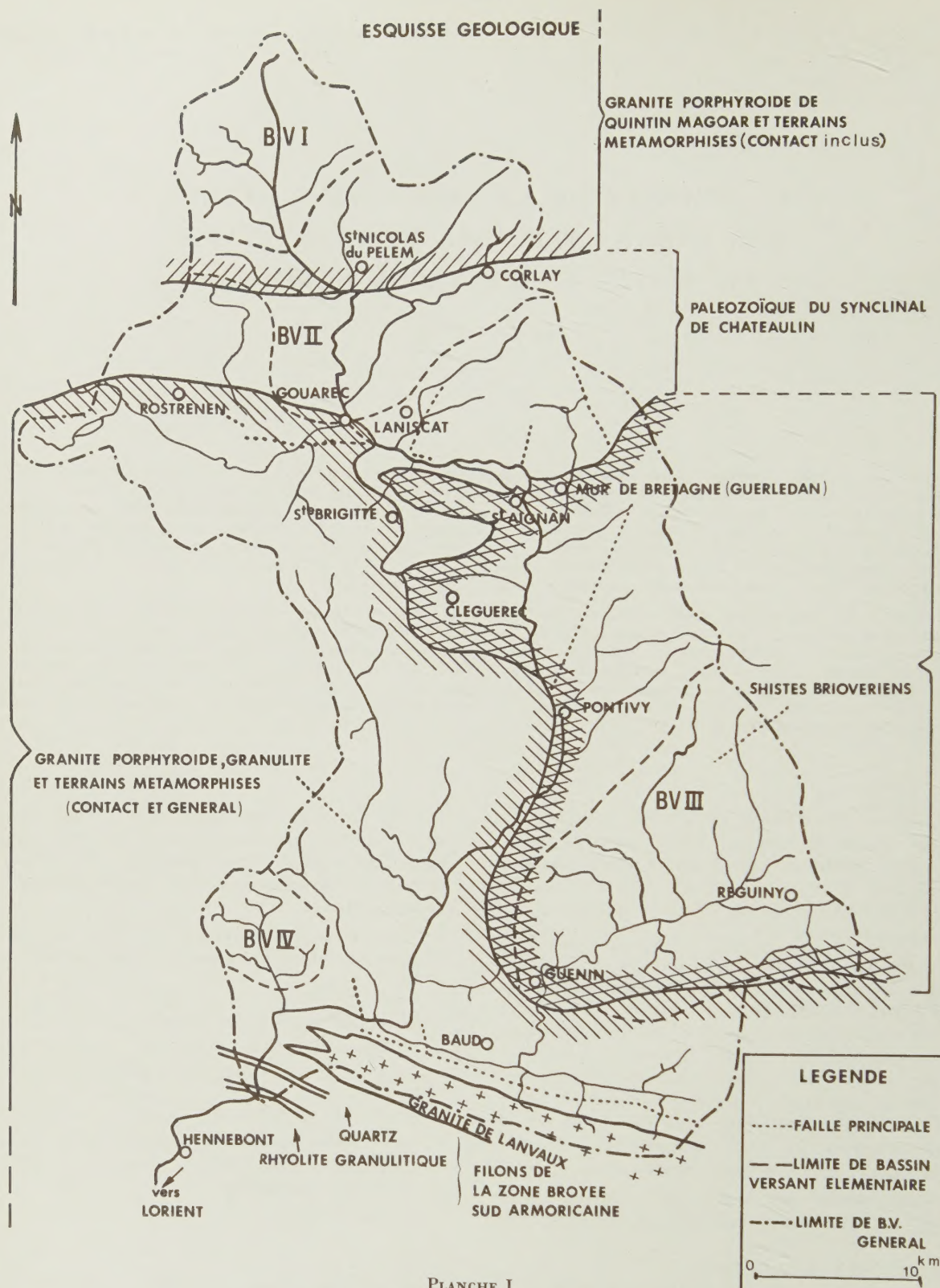


PLANCHE I

Le bassin versant du Blavet.

Les bassins versants élémentaires ont été choisis en fonction du substratum.

La première partie (aspect statique de l'étude) correspond sensiblement aux quatre premiers chapitres, la seconde partie (aspect dynamique) aux quatre derniers.

PREMIÈRE PARTIE

LA STRUCTURE DES BASSINS VERSANTS

I. — LA MICROSTRUCTURE DES BASSINS

Nous entendrons par microstructure de bassin versant, les caractéristiques lithologiques (séries géologiques) et les caractères intrinsèques de ces séries qui justifient une étude géologique.

A. — LES SÉRIES GÉOLOGIQUES.

Elles sont nombreuses en cette région, tant dans les roches éruptives que cristallophylliennes ou sédimentaires. C'est en fonction de la plus grande surface d'affleurement et des caractéristiques hydrogéologiques théoriques des roches que nous avons choisi quatre bassins versants élémentaires (B.V.), tels qu'ils figurent dans la planche 1 :

- le B.V. I au substratum de granites porphyroïdes (Quintin Magoar) ; 104 km² ;
- le B.V. II au substratum de granites porphyroïdes et de schistes dinantiens de Châteaulin ; 235 km² (la station de jaugeage du B.V. II, Gouarec, contrôlant ainsi une surface de 339 km²) ;
- le B.V. III sur schistes briovériens ; 316 km² ;
- le B.V. IV sur granulite (granite à deux micas) ; 48 km².

Les terrasses récentes ou anciennes (tertiaire) occupent des surfaces extrêmement réduites et, de ce fait, ont un rôle hydrogéologique pratiquement inexistant.

B. — LES CARACTÈRES INTRINSÈQUES.

Ceux qui nous intéressent plus directement sont la géochimie et la cohésion des terrains.

Si la similitude est certaine entre les séries schisteuses dinantiennes et briovériennes — aussi bien dans leur minéralogie que dans la succession stratigraphique des séquences volcaniques et schisteuses avec alternances grésophylliteuses à toutes échelles — cette similitude apparaît encore dans une certaine mesure entre les terrains granitiques et les terrains schisteux. Les minéraux que nous

avons observés au microscope sont les mêmes² à quelques exceptions près (tableau 1) et il y a donc un même potentiel géochimique dans l'ensemble du bassin versant général. Géochimie et altérabilité des minéraux fournissent des arguments en faveur de la retromorphose des biotites, de l'importance du fer dans la trame schisteuse, de l'absence de chlore.

D'autre part on observe la même juxtaposition de séries à perméabilité d'interstices (arène granitique ou altération schisteuse) et de séries à perméabilité de fissure (fracturation des granites et des schistes).

En effet si la fracturation du granite ne saurait surprendre (elle existe également à l'échelle microscopique : protoclaste, cataclase), encore faut-il montrer que les schistes peuvent s'y prêter. Nous avons observé :

- dans les schistes dinantiens de Châteaulin des témoins d'un métamorphisme de degré épi et peut-être meso (association du greenschist faciès, recristallisation du fond quartzofeldspathique, aspect et origine des micas blancs amygdalaires),

- dans les schistes briovériens du B.V. III un cycle métamorphique correspondant au classique meso-retro-épi (J. Cogné, 1960) au Sud de la rivière Evel, et, au Nord, un cycle épi-retro-épi.

Ce métamorphisme rend, par induration, les séries schisteuses aptes à la fracturation au même titre que les granites.

II. — L'ARCHITECTURE DU SUBSTRATUM

Nous distinguerons une architecture, ou macrostructure, profonde et de subsurface (bassin de Châteaulin - Tectonique - Géophysique et affleurements) d'une architecture de surface (Géomorphologie - Pédologie).

A. — L'ARCHITECTURE PROFONDE ET DE SUBSURFACE.

Facile à concevoir dans le cas des granites, des granulites, voire du briovérien (finement plissé et redressé), elle est plus complexe dans le cas du bassin de Châteaulin. La figure 1 rend compte de sa structure lithostratigraphique et de son évolution. On observera la faible ampleur des mouve-

2. Jusque dans l'acidité des plagioclases (ab-ol). Un inventaire des minéraux lourds dans l'arène granitique en place et dans le sable de rivière fait apparaître une paragenèse de l'« épidote amphibolite faciès » en région granitique (B.V.I.) et des minéraux critiques de l'« amphibolite faciès » ou encore de l'« épidote-glaucophane schist » en région granulitique (B.V.IV).

TABLEAU 1

Les minéraux dans les séries des bassins versants.

	GRANITES		SCHISTES	
	BV I Granite	BV IV Granulite	BV II Dinantien	BV III Brioverien
LMP	Quartz Feldspath alcalin Plagioclase(1) Biotite Chlorite < b Zircons-Monazite Apatite Sphène Minéraux opaques	Quartz Feldspath alcalin Plagioclase(1) Biotite Muscovite < ^b _n Chlorite < b Apatite Tourmaline(2) Minéraux opaques(2) (rutile)	Quartz Feldspath alcalin Plagioclase(1) Biotite < ^{tr} _{am} Muscovite < ^s _{an} Chlorite < b - tr - n Andalousite(3) Minéraux opaques (ferrotitanés et carbonés) (rutile)	Quartz Feldspath Plagioclase(1) Biotite < ^{am} _g Muscovite < ^s _{au} sb < b Chlorite - tr - n Tourmaline Zircons Minéraux opaques (ferrotitanés à charbonneux)
TML	GRANITE PORPHYROIDE (BV I)		GRANULITE (BV IV)	
	Arène d'altération en place 0,1	Sphène - Zircon - Monazite - Hornblende - Epidote - Grenat (almandin)	Anatase - Brookite - Sphène - Monazite - Zircon - Tourmaline - Andalousite - Disthène - Staurotide - Sillimanite - Grenat (almandin)	
	Sable de Rivière 0,4	Sphène - Zircon - Monazite - Tourmaline - Andalousite. Hornblende - Epidote.	Anatase - brookite - Tourmaline - Andalousite - Glaucophane - Epidote, Disthène, Staurotide Sillimanite - Grenat (almandin)	

1. Plagioclases acides (alb-olig).

2. Dans une dépression en bordure des schistes briovériens.

3. Métamorphisme de contact (chiastolite).

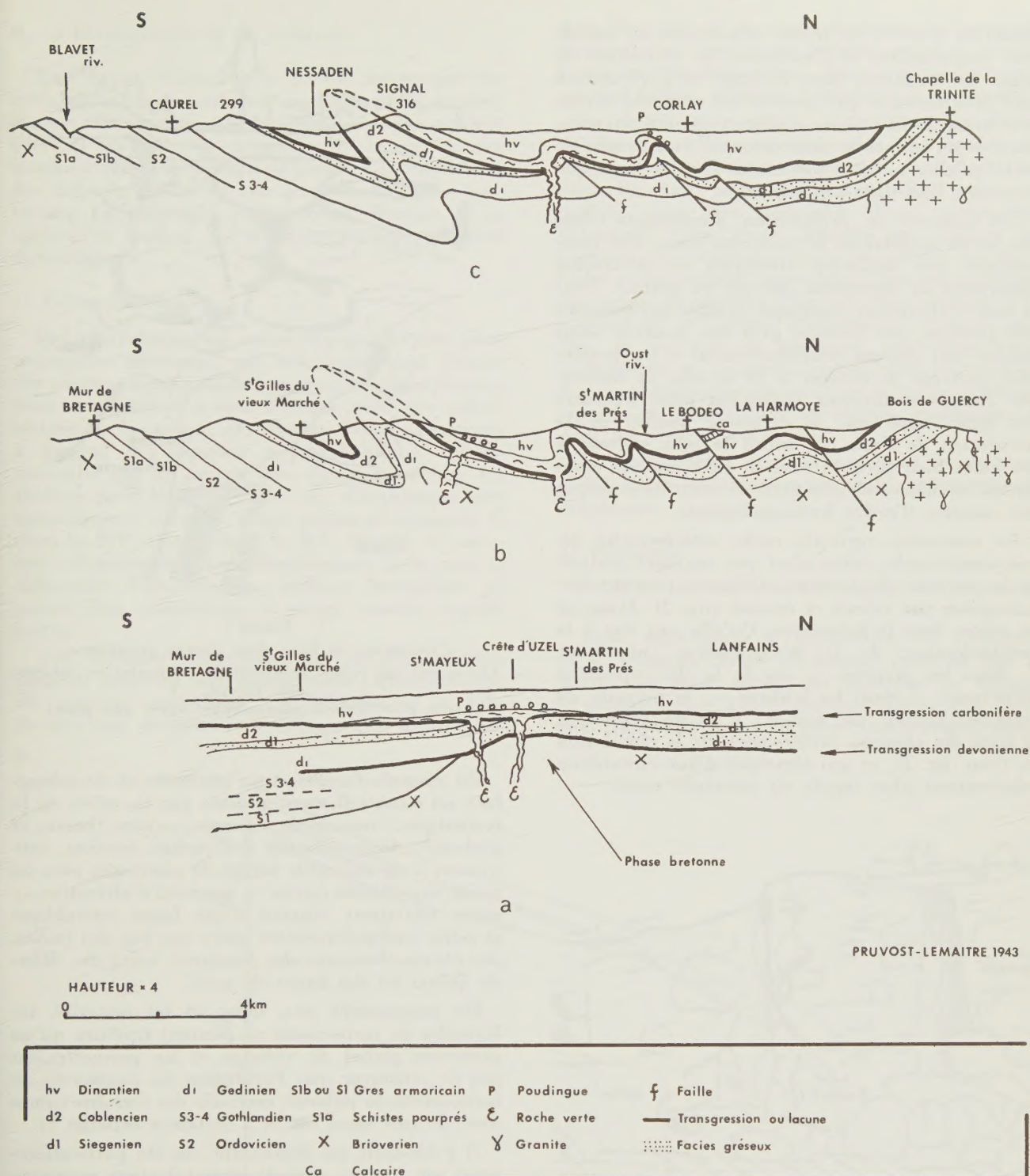
< b = issue de la biotite - n = néoformée - am = amygdalaire - g = forme géométrique nette - s = sericite - au = automorphe - sb = subautomorphe - tr = en trame - 0,1; 0,4 = Teneur pondérale moyenne de minéraux lourds, en gramme pour 100 grammes. LMP = lame mince pétrographique. TML = Minéraux lourds.

ments bretons correspondant à l'orogénèse hercynienne et la violence de la tectogénèse hercynienne qui lui a succédé. On conviendra — compte tenu, en outre, de la lithologie — que la classique étanchéité des bassins sur schistes peut être sujette à caution.

Et ceci peut être généralisé à l'ensemble des bassins, à la région et au massif armoricain. Nous le

montrons (A. Rampon, 1969) à partir de mesures de pendage et de directions de fractures dans les carrières, de mesures de directions de fractures sur cours d'eau et sur photographies aériennes, au moyen de diagrammes stéréographiques et par interprétation basée sur l'ellipsoïde des contraintes. Les mouvements orogénétiques, tectogénétiques, les contrecoups des plissements alpins, les tremble-

LE BLAVET EN BRETAGNE CENTRALE



PRUVOST-LEMAITRE 1943

FIGURE 1

Les schistes de Chateaulin et leur contexte.
Evolution de l'extrémité orientale du bassin de Chateaulin (Bassin versant n° II).

Epoque dinantienne (a).

Epoque actuelle = méridien de Mur de Bretagne (b) et méridien de Corlay (c).

On observera l'intensité des effets cassants de la tectonique.

ments de terre et les rejeux sub-actuels ou actuels sont responsables de l'existence de véritables réseaux de fractures, dont l'origine et l'orientation sont différentes et qui forment un véritable enchevêtrement de lithoclastes. Celles-ci ont été ouvertes, soudées ou obturées, puis ouvertes à nouveau, de sorte qu'elles ne sont pas toutes fertiles mais que le réseau l'est dans son ensemble.

Les dossiers de *prospection géophysique* dans des séries semblables le montrent bien. Des prospections par méthodes sismiques et électriques confirment la fissuration interne du granite. Sous la zone d'altération granitique meuble apparaissent des granites très fissurés, puis des granites sains fissurés qui passent progressivement à un granite sain, pouvant se trouver à 30 m sous la surface. Des forages confirment également cette structure des séries ainsi que le caractère fissural de la circulation de l'eau qui sourd le plus souvent à des cotes bien précises sous la zone altérée; nous ferons les mêmes observations de contrôle à propos des mesures d'ordre hydrogéologique.

La succession verticale roche altérée-roche comprimée-roche saine n'est pas toujours réalisée et des niveaux de structure différents peuvent être juxtaposés par rejeux et érosion (fig. 2). Il en est de même dans le brioverien. Qu'elle soit due à la prépondérance de la désagrégation (physique) — dans les granites — ou de la décomposition (chimique) — dans les schistes —, la porosité du matériau meuble est grande; il existe cependant là aussi des chemins préférentiels de la circulation de l'eau (fig. 3), ce qui témoigne d'une circulation relativement plus rapide en certaines zones.

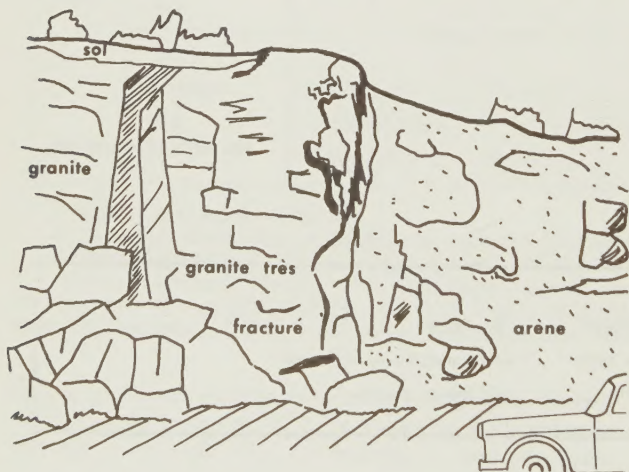


FIGURE 2

Hétérogénéité de structure dans les granites.

Kergontrary = Les niveaux de structure roche altérée meuble et roche altérée fissurée sont à la même cote.

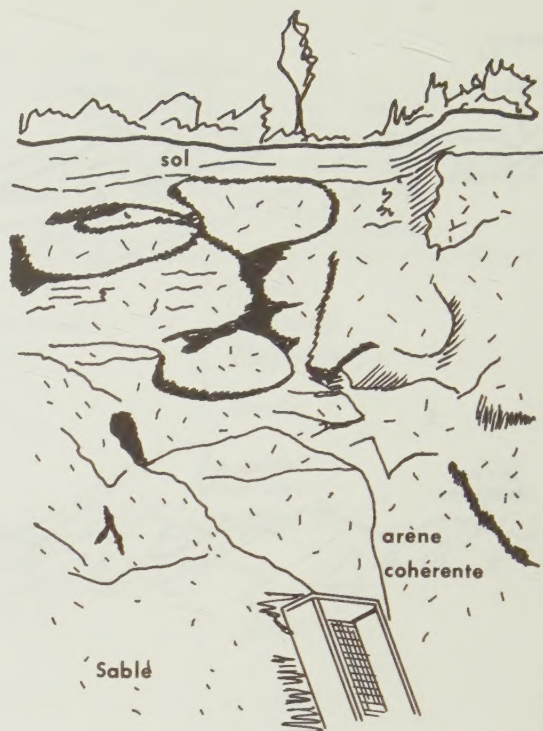


FIGURE 3

Circulation de l'eau dans l'arène granitique.

Elle se fait par veines préférentielles verticales ou obliques dans l'arène (traits gras; d'après photographie après une pluie).

En résumé, l'architecture profonde et de subsurface est essentiellement affectée par les effets de la tectonique : tectonique cassante, rejeux (horsts et grabens), décompression des roches, érosion, conduisent à un ensemble formé de *réservoirs plus ou moins superficiels* (arène — manteau d'altération — séries tertiaires) répartis d'une façon anarchique et *reliés hydrauliquement entre eux par des failles, des chevauchements, des fractures, voire des filons de quartz ou des bancs de grès.*

On remarquera que, dans un tel matériel, les formules de tarissement ne peuvent traduire qu'un processus global de vidange et ne permettraient pas de retrouver, par l'évolution du coefficient de tarissement, la polarité verticale des terrains (sinon dans de très rares cas et à certaines échelles ?).

Il y faudrait, au demeurant, un été particulièrement sec, car en période climatologique moyenne la fréquence des pluies ne permet pas de procéder à l'étude d'une courbe de vidange. C'est pourquoi nous avons cherché à évaluer les réserves hydrogéologiques à partir des résultats d'un bilan envisagé sinon sous une forme nouvelle du moins sous un aspect nouveau.

B. — L'ARCHITECTURE DE SURFACE.

Mais avant d'aborder la partie dynamique de cette étude, nous traiterons rapidement de l'architecture de surface. La géomorphologie traduit l'état et les divisions naturelles de la surface des bassins; celles-ci serviront de base à l'extrapolation des mesures effectuées en des secteurs plus restreints. La pédologie précise cette division de la surface et fournit les premiers résultats d'ordre dynamique.

1) Géomorphologie.

Des observations sur cartes topographiques, photographies aériennes, sur le terrain, puis l'étude des profils en long et des courbes hypsographiques nous ont conduit à des divisions puis des subdivisions de la surface des bassins. Nous signalerons à propos des courbes hypsographiques qu'une anomalie qui ne saurait être significative dans les chiffres peut le devenir du fait d'arguments géotectoniques : ainsi les zones géomorphologiques C dans le B.V. I et B dans le B.V. IV (fig. 4) accusent effectivement un effondrement, bien que la différence d'altitude des secteurs incriminés ne puisse être considérée, *a priori*, comme significative.

Des volumes importants de terrains soliflués peuvent avoir un certain rôle dans l'hydrogéologie des régions cristallines : si les témoins de solifluxion sont ubiquistes en Bretagne, ils sont cepen-

dant dispersés et, surtout présentent un caractère atypique. Ces témoins apparaissent, en effet, comme les racines du phénomène : donc caractère atténué, porosité faible, influence hydrologique négligeable.

La distribution de la végétation, par l'effet qu'elle a sur l'évapotranspiration, est encore un critère dont il faut tenir compte. La végétation naturelle étant répartie d'une manière trop sporadique pour être justiciable d'une prospection botanique, nous avons consulté les chiffres du Cadastre. Ils démontrent que la surface des eaux libres et les surfaces imperméabilisées ne sauraient être prises en compte (elles couvrent chacune 1 % à peine de la surface d'ensemble); d'autre part (fig. 5) les prés et herbages, végétation semi-permanente et continue, responsable primordiale de l'évapotranspiration, couvrent le même pourcentage de la surface dans les régions granitiques et dans les régions schisteuses.

En conséquence nous avons choisi les secteurs pédologiques en fonction des seuls critères physiographiques.

2) Pédologie.

Nous résumerons très brièvement cet important chapitre.

Nous signalerons la publication M. Coppenet et A. Rampon (1967) au lecteur intéressé par la partie de notre étude qui concerne la chimie, la granulométrie, l'humidité équivalente et la fertilité. Rappelons que nous avons une certaine homo-

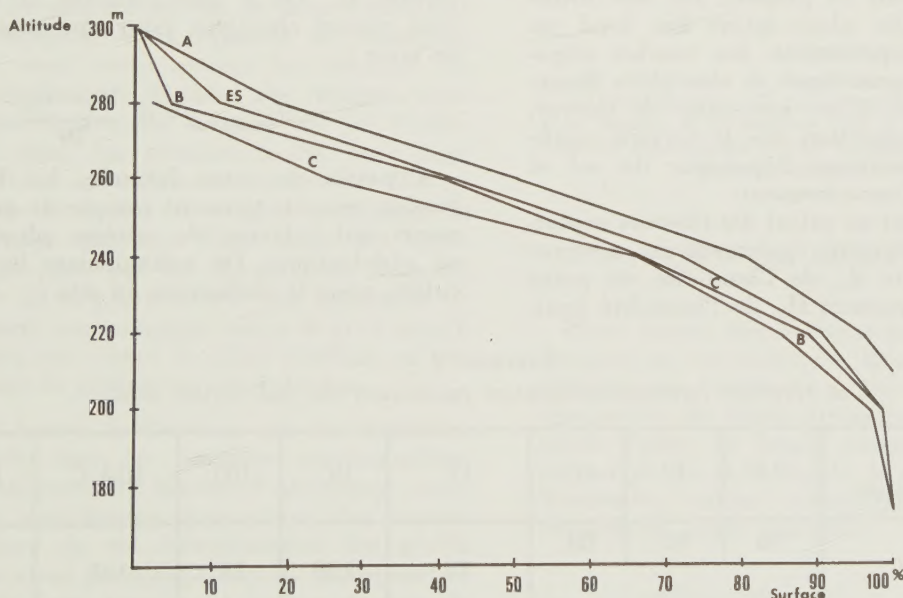


FIGURE 4

Courbes hypsographiques, Bassin versant n° 1.

On observe une graben-tendance dans la zone géomorphologique C et une horst-tendance dans la zone géomorphologique B.

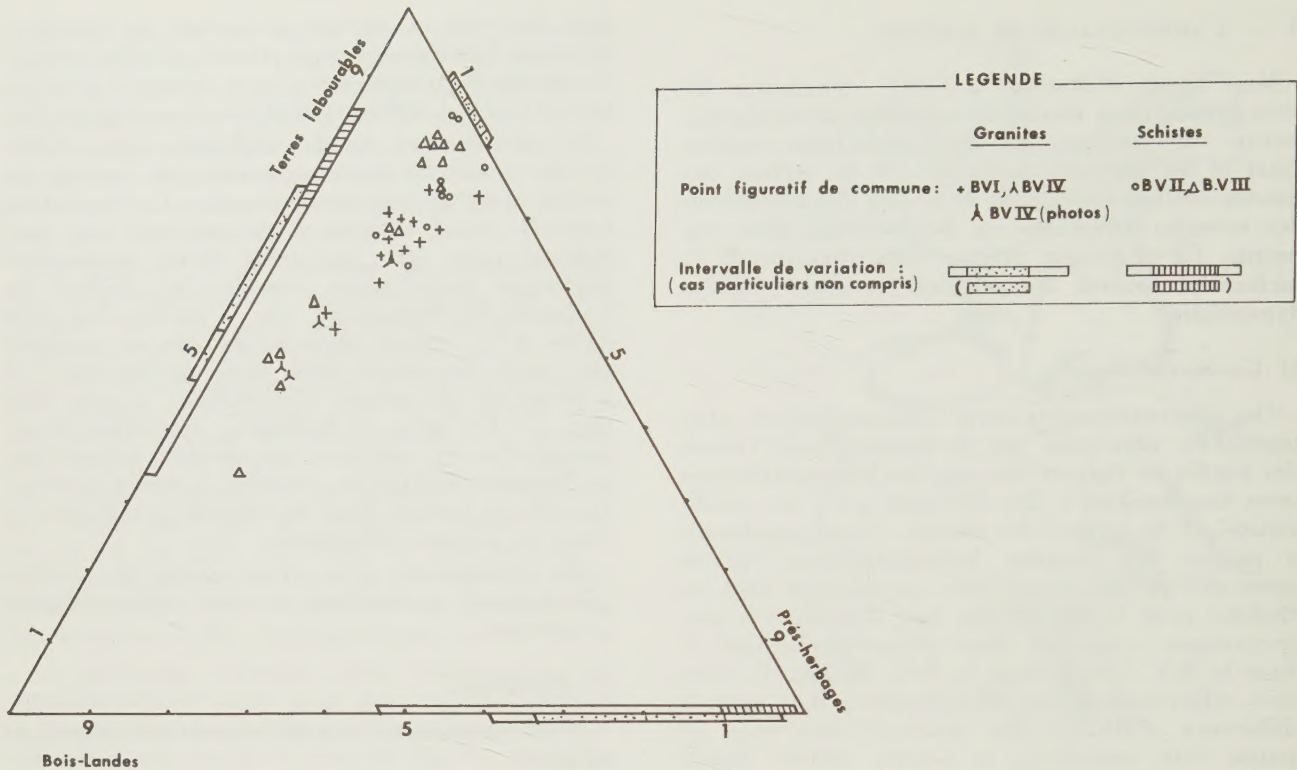


FIGURE 5

Couverture du sol. Pourcentage des surfaces occupées dans les bassins versants élémentaires.

Les régions granitiques, plus pauvres, ont été moins défrichées; labours et bois sont répartis plus inégalement selon les communes sur schistes (la dispersion des résultats est plus grande qu'en région granitique). Mais il faut surtout observer que prés et herbages (couverture continue) couvrent la même surface dans les deux types de commune.

généité des sols, pour la plupart des sols bruns acides très désaturés, alors qu'en bas fond on observe, le plus fréquemment, des tourbes oligotrophes en région granitique et des gleys légers en région schisteuse. Il est nécessaire de relever, au cours de la prospection sur le terrain, outre les observations classiques, l'épaisseur du sol et la profondeur de l'enracinement.

Ces données servent au calcul des *réserves exploitables*, calcul qui nécessite également des mesures de densité apparente d_a , de l'humidité au point de flétrissement permanent H_p , de l'humidité équi-

valente H_e . On a ainsi, suivant la méthode qui reste encore classique, pour une tranche de 1 cm de terre :

$$R_{\text{mm/1 cm}} = d_a \frac{H_e - H_p}{10}$$

A partir de cette formule, les résultats aux bassins versants tiennent compte de nombreux éléments qui relèvent de critères physiographiques ou pédologiques. On a finalement les valeurs calculées, nous le soulignons, *in situ* :

TABLEAU 2
Les réserves hydropédologiques maximum du sol, R, en mm

Zones Géomorphologiques	IA	IB	IC	IV	IIC	IID	IIIA.C	IIID.E.
R^{mm}	56	88	88	79	128	77	138	120
	75							
Substratum	Granite			Granu- lite	Schistes			

Nous avons contrôlé la fiabilité des résultats par comparaison avec la valeur des réserves utiles du sol obtenue par une autre méthode (P. Fontaine, 1964).

Mais la pédologie constitue déjà un chapitre charnière entre les éléments d'ordre statique et d'ordre dynamique du bilan :

Le lessivage des éléments chimiques est *peu fréquent et faible suivant la verticale mais très net selon sa pente*. Il en est de même de l'évolution du taux de saturation qui passe, de sommet en bas fond, de 15 % à 5 % puis 30 %. On arrive encore à la même conclusion par les résultats de l'analyse granulométrique. (L'indice d'entraînement d'argile ne dépasse qu'occasionnellement 1,4 et lui est le plus souvent de beaucoup inférieur).

D'autre part la circulation de l'eau se fait souvent d'une *manière indépendante dans l'horizon humifère* ainsi que le prouve le taux de magnésium qui reste différent en sommet puis en bas de pente, dans l'horizon humifère (0,15 mé/100 g) et dans l'horizon sous-humifère (0,35 mé/100 g). Nous parlerons à ce propos d'écoulement subsuperficiel, qui intervient vraisemblablement en grande part (et au même titre que le retard à l'écoulement) dans l'écoulement hypodermique en certains hydrogrammes.

En troisième lieu des mesures de perméabilité dans l'horizon humifère par la méthode de Porchet et dans les conditions d'application de la loi de Darcy (dans la plupart des cas le taux d'humidité du sol est supérieur à la capacité de rétention; par ailleurs nous avons retenu les résultats du deuxième remplissage) donnent des résultats dont le mode (distribution de Galton) est de l'ordre de 10^{-5} m/s dans les granites et 10^{-6} m/s dans les schistes. Donc une *infiltration moyenne*. Elle est de l'ordre de 20 mm/h en région granitique et 8 mm/h en pays schisteux. Nous avons fait apparaître, d'autre part, par des diagrammes intensité $\times$ fréquence de la pluviométrie que l'intensité de la pluviométrie est comprise entre 0 et 4 mm/h dans 80 % des cas : toute la pluie s'infiltré en terrain plat, dans la grande majorité des cas.

Donc une bonne infiltration, qui ne rencontre pas d'obstacle dans les horizons sous-humifères (comme l'établissent les limites d'Atterberg), combinée à une distribution discontinue des mouvements de l'eau du sol (hétérogénéité des profils chimiques et aussi granulométriques) définissent la circulation de l'eau dans le sol comme un type de *circulation par veines souvent obliques*, à la manière de ce que nous avons signalé dans l'arène granitique (fig. 4).

DEUXIÈME PARTIE

L'EAU DANS LES BASSINS VERSANTS

C'est par une étude de la Climatologie et de la circulation de l'eau dans les bassins versants que nous nous proposons :

- de contrôler les hypothèses sur la fissuration du substratum, de préciser le processus de circulation de l'eau souterraine et son régime;
- de cerner les éléments du bilan, d'en contrôler le bon enchaînement et d'en tirer les conséquences qui s'imposent.

On sait que l'eau de pluie s'infiltré ou ruisselle. L'eau infiltrée (fig. 6) prend part aux réserves du sol, aux réserves géologiques et aux pertes, et participe, avec l'eau qui ruisselle, à l'écoulement des cours d'eau; le tout revenant à plus ou moins brève échéance dans l'atmosphère. L'évapotranspiration réalise un cycle latéral secondaire. Nous suivrons en conséquence le plan naturel suivant : Climatologie - L'eau souterraine - Bilan de l'eau.

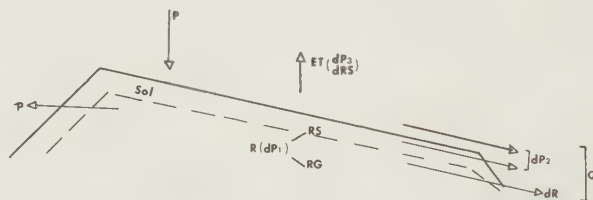


FIGURE 6

La circulation de l'eau dans un bassin versant.
P = Pluviométrie; ET = Evapotranspiration; Q = Débit;
p = pertes; R = réserves (RS = réserves du sol, RG = réserves géologiques); d = fraction ($dP_2 = 2^{\circ}$ fraction de la pluviométrie par exemple).

III. — LA CLIMATOLOGIE

Nous dirons très brièvement que nous avons dû équiper le territoire du Blavet de stations pluviométriques dont une par bassin élémentaire comportait un thermohygrographe et un évaporomètre Piche. Le bassin versant général bénéficie, en marge du B.V. II, de la Station Officielle de Rostrenen, station synoptique d'observation, par conséquent assez complète.

A. — LES PRÉCIPITATIONS.

Il s'agit d'en connaître le volume et le régime. Le volume correspond à une hauteur d'eau qui

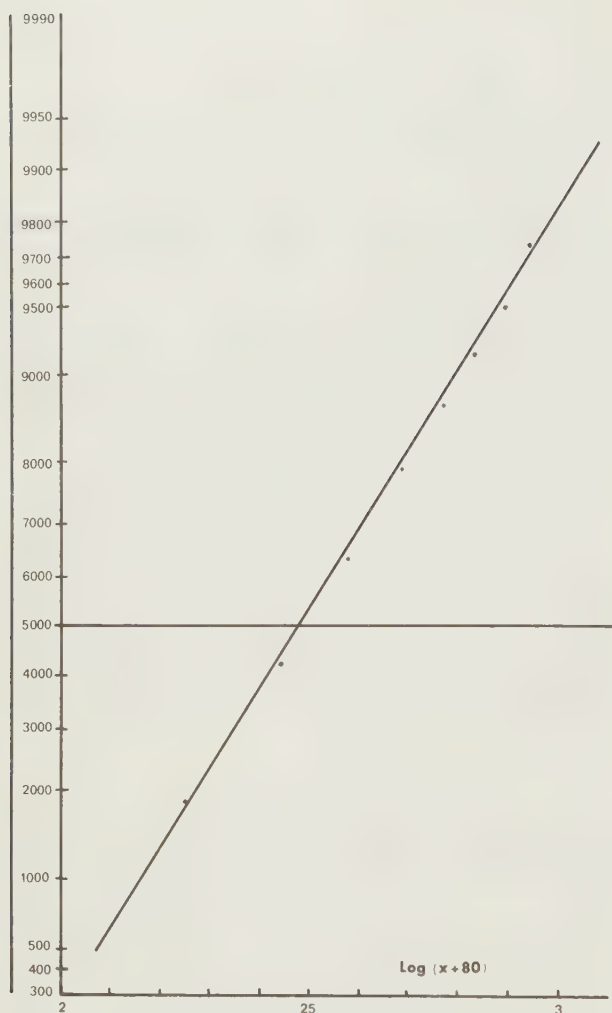


FIGURE 7

Pluviométrie interannuelle à Pontivy, loi de Galton (Période P. E.).

L'ajustement de la droite de Henri est satisfaisant en principe, de même que la concordance entre la distribution réalisée et la distribution théorique (planche 2, fig. c) est bonne en principe aussi : voir cependant l'observation fig. 8.

y = échelle des probabilités.

x = pluviométrie semestrielle « d'été » (1928-1965).

varie de 916 à 1141 mm/an, pour 1964 à 1967, suivant les bassins; la seule moyenne arithmétique entre les résultats relevés aux stations est suffisamment précise ainsi que nous l'avons montré par une comparaison avec la carte des isohyètes et la méthode de Thiessen.

Le régime annuel peut être étudié sur une période relativement longue aux seules stations de Gouarec et Pontivy. La distribution des valeurs (planche 2) sur 40 ans ne répond pas à une loi statistique classique, tout au plus, dans certains cas (P.E.), à la loi de Galton (fig. 7) voire de

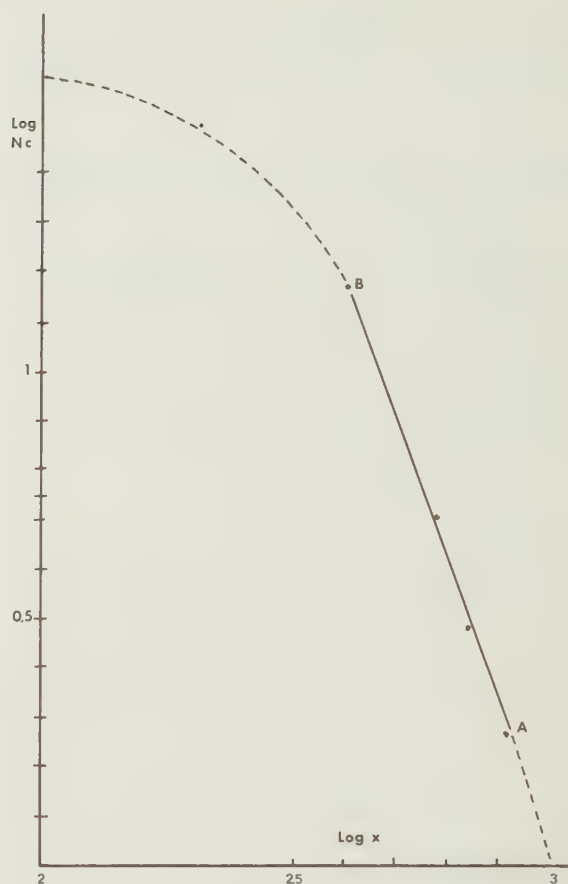


FIGURE 8

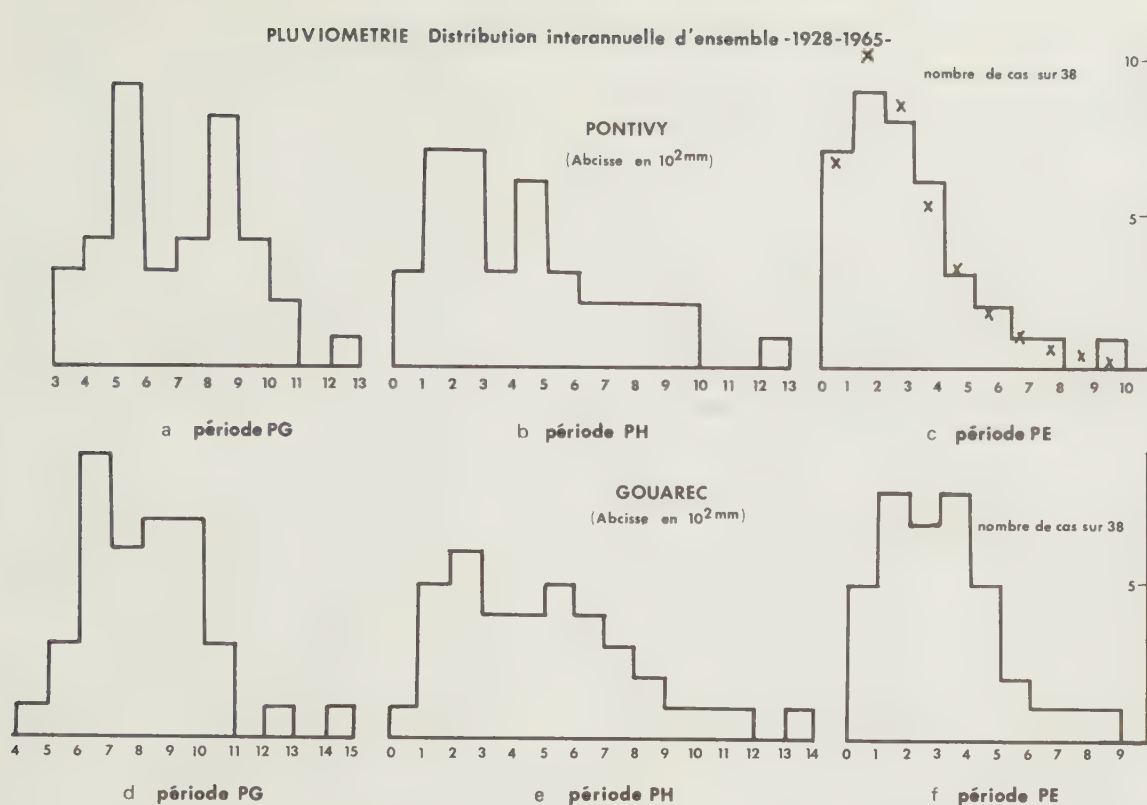
Pluviométrie interannuelle à Pontivy, loi de Pareto (Période P. E.).

Excellent ajustement de la portion A B. On a affaire, par contre, après le point B à une autre population. Celle-ci correspond précisément à la population en deçà de 4×10^{-2} mm (planche 2, fig. c) où la concordance entre les deux distributions est moins bonne que pour le reste : cette discordance, contrairement à ce que l'on pourrait penser, serait donc significative.

Pareto (fig. 8); ce qui ne permet pas de classer d'une manière satisfaisante la période d'étude par rapport à une longue série de résultats.

Aussi, avons nous considéré le régime mensuel (planche 2). Les courbes de fréquence de valeurs dépassées sur 40 ans permettent de reconnaître, sans surprise aucune, le régime océanique mais montrent encore que septembre peut être raisonnablement compté dans le semestre qui comprend les précipitations les moins importantes. Elles classent, en outre, la période du bilan dans les pluviométries légèrement supérieures à la médiane (moyenne supérieure), avec un déficit très net en juillet, août, septembre, ce qui crée de meilleures conditions d'étude géohydrologique.

PLUVIOMETRIE Distribution interannuelle d'ensemble -1928-1965-



PLUVIOMETRIE Fréquence des valeurs dépassées (période 1928-1967)

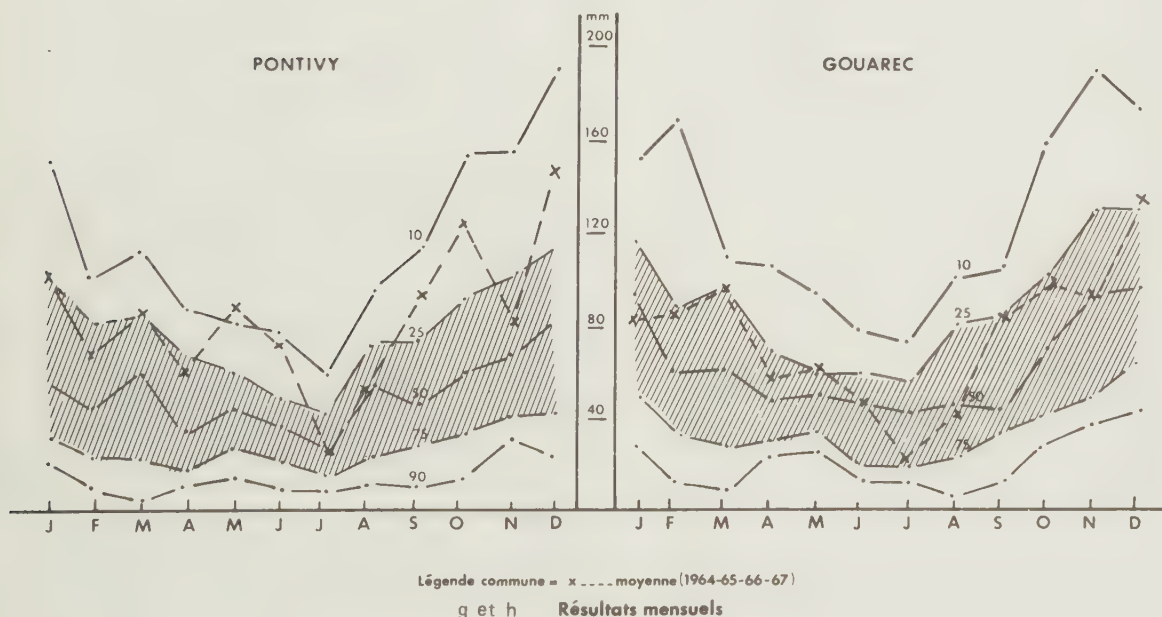


PLANCHE II

Pluviométrie - Distribution interannuelle 1928 - 1965.

a et d = résultats annuels.

b et c = résultats semestriels « d'hiver » (période P.H.).

c et f = résultats semestriels « d'été » (période P.E.).

g et h = fréquence des valeurs mensuelles dépassées. Classement de la période d'étude par rapport à une longue série de résultats. Décrochement en été, minimum en juillet.

Nous avons évoqué, à propos des mesures de perméabilité en Pédologie, le régime pluviométrique à une échelle plus fine. Il n'est pas utile d'y revenir.

B. — L'ÉVAPORATION.

Elle crée un cycle latéral secondaire dans le circuit de l'eau en un bassin versant : pluie-réserve du sol-évaporation. Son importance est grande dans le bilan de l'eau. Nous avons comparé, par les chiffres obtenus à Rostrenen, les formules climatologiques de Blaney-Criddle, Thornthwaite,

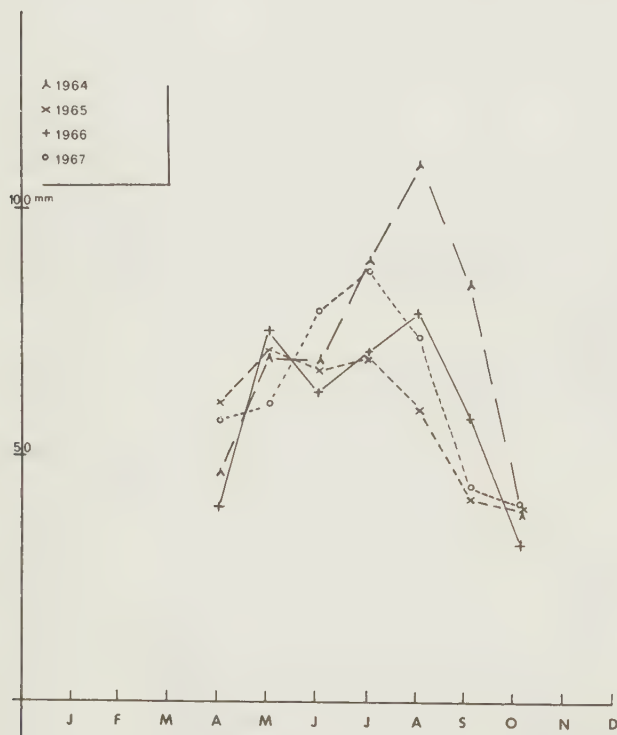


FIGURE 9

Evapotranspiration Bouchet à Rostrenen (en mm).

Le décrochement des valeurs en juin est systématique (il peut se produire en mai). Nous avons montré, par une corrélation de ces résultats avec le rapport de l'insolation à l'hygrométrie, que ce décrochement dépend de ces deux facteurs. On a bien, par les valeurs Bouchet, les variations effectives de l'évaporation.

Penman, Turc, l'évaporation d'un bac A non enterré et l'évapotranspiration (E.T.) Bouchet calculée, on le sait, à partir de l'évaporation du tube Piche. Il apparaît que les valeurs Bouchet reflètent mieux le régime de transfert de l'eau du sol à l'atmosphère :

— ainsi qu'on le voit par le décrochement de juin (fig. 9) qui correspond à un fait réel

et non à un artefact (nous le montrons par une corrélation

$$E.T. \times \frac{\text{ensoleillement}}{\text{hygrométrie}})$$

- ainsi que le prouve, sur un autre plan, le fait que la température est significativement³ différente dans les quatre bassins alors que l'évapotranspiration Bouchet ne l'est pas³ : hygrométrie et ensoleillement, peu ou pas pris en compte dans la plupart des formules climatologiques, ont en Bretagne un rôle certain;
- ainsi que le rôle du vent en rend compte : une corrélation entre les résultats Bouchet à Rostrenen (y), station située sur une butte, qui sont significativement différents³ des résultats Bouchet à Gouarec (x), dans une vallée, conduit à l'expression : $y = 1,41 x + 14,2$; les stations situées dans les vallées ne sont donc pas représentatives de l'évaporation et nous avons, dès lors, fait intervenir dans nos calculs des moyennes basées sur cette expression.

Ce sont ces valeurs que nous garderons comme base de calcul de l'E.T.P. Nous testerons celle-ci par une méthode originale qui consiste à déterminer l'évapotranspiration potentielle en place, dans les bassins soumis au bilan d'eau.

IV. — L'EAU SOUTERRAINE (GÉOHYDROLOGIE)

L'eau de pluie qui ne participe pas à la constitution des réserves du sol percole vers les réserves géologiques permanentes ou non permanentes aux dépens desquelles se fait une alimentation partielle des cours d'eau et se produisent des pertes.

Nous avons vu les modes de circulation de l'eau dans le sol et les séries meubles. En profondeur c'est le type d'écoulement fissural qui domine et nous avons recoupé, en les confirmant, les hypothèses sur la structure interne du bassin, par l'étude de la piézométrie et du faciès hydrogéochimique⁴ (dont nous donnons trois courbes à titre d'exemple, planche 3), par des mesures de résistivité (qui permettent entre autres, de mettre en évidence, dans le bassin versant élémentaire n° 11, une alimentation latérale à partir de secteurs hydrauliquement en charge). La vitesse de circu-

3. Test de Sudent à n-2 degrés de liberté.

4. Il rend compte en outre — et entre autres choses — du caractère fragmentaire des nappes (par la concentration), ce que démontrent également des mesures de résistivité de l'eau des puits en région granitique et en région schisteuse.

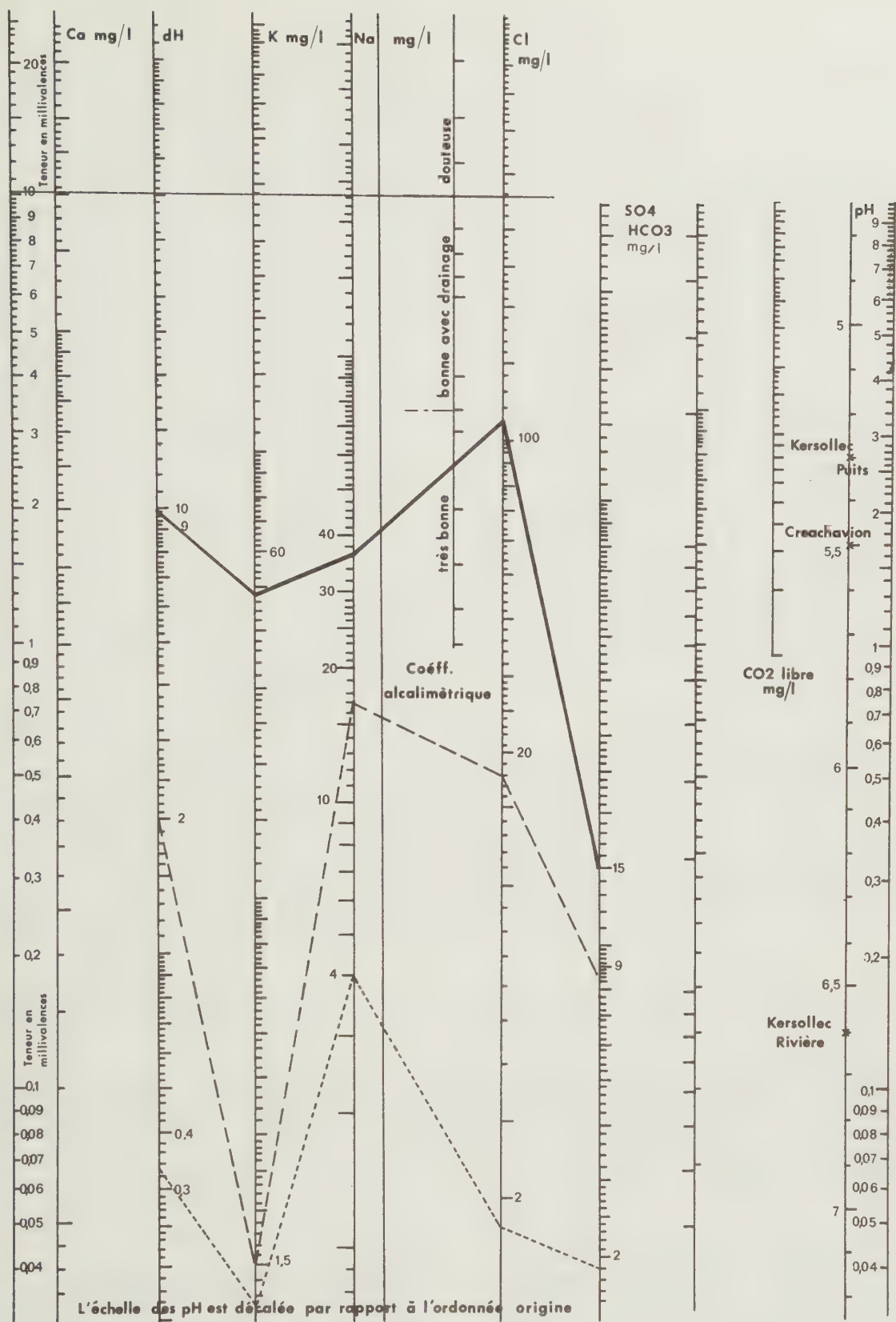


PLANCHE III
Diagramme Schoeller - Berkaloff.

Eaux chlorurées sodiques, peu concentrées à titre hydrotimétrique *relativement* élevé — C'est le faciès des eaux de puits (qui comprend neuf familles dont une seule est représentée ici) qui précise le type de circulation de l'eau.

— puits — - - rivière ... pluie, dans la région de Mael-Pestivien.

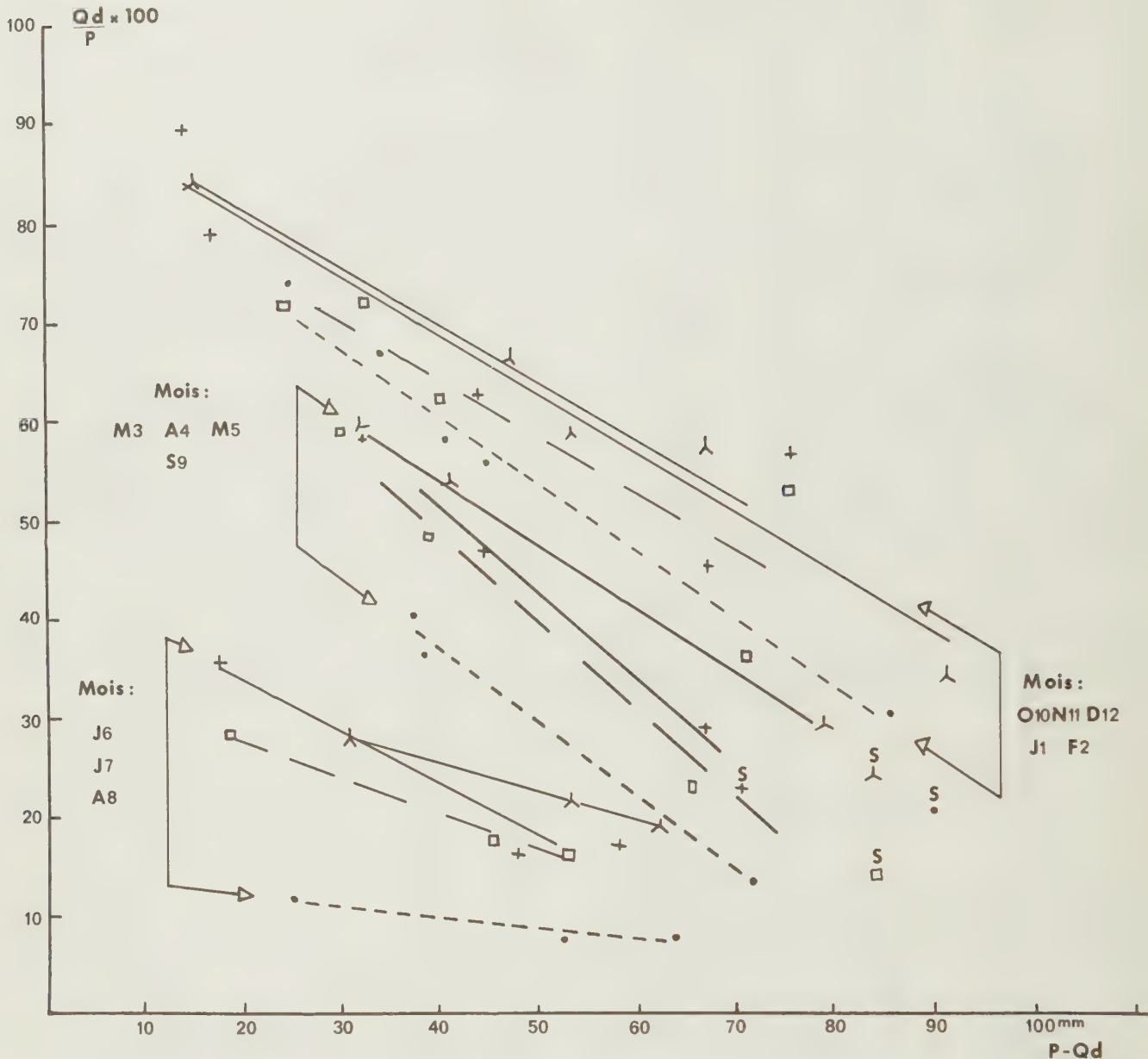


FIGURE 10

Coefficient d'écoulement (C. E.) et déficit d'écoulement (D. E.) en fonction du substratum et du mois.

Le régime hydrogéologique de la période mars-avril-mai est confirmé et étendu ici aux années 1965-1966-1967, on observe en outre la même hiérarchie suivant le substratum en chacun des nuages (— granites, ... schistes, — — substratum mixte).

S = septembre.

y = coefficient d'écoulement.

x = déficit d'écoulement.

lation dans les fissures elles-mêmes est très variable. La circulation de l'eau dans de telles séries géologiques peut être, finalement, relativement rapide (par rapport à l'écoulement gravitaire) dans les séries meubles et relativement lente (par rapport à l'écoulement fissural) dans les zones fissurées.

LES RÉSERVES HYDROGÉOLOGIQUES ET LEUR RÉGIME.

Mais nous n'insisterons pas sur le mode de circulation de l'eau souterraine dont il nous fallait cependant souligner le processus d'étude et les conclusions.

Les réserves géologiques ont un rôle certain

dans l'hydrogéologie des régions cristallines ainsi qu'on peut le montrer par l'évolution de l'écart type relatif aux débits mensuels à Guerlédan, par les valeurs trimestrielles ou semestrielles des débits, par les débits caractéristiques d'étiage aux stations « granitiques » ou « schisteuses »; on le voit encore par une corrélation lysimètre (I.N.R.A., Quimper) $\times$ bassin versant n° 1 ou encore par le fait que les débits mensuels moyens dans le bassin versant sur schistes sont significativement différents des débits⁵ en région granitique alors que la pluviométrie ne l'est pas⁵; on le voit enfin par les variations piézométriques de l'eau.

Ces variations font en outre apparaître une particularité du régime : aussi bien dans les puits de fissure (porosité de fissures prédominante) que dans les puits de nappe (porosité d'interstices prédominante) que dans les puits de type mixte, les réserves sont au même niveau en début et en fin de trimestre mars-avril-mai (MAM) en 1963 et en 1964. Nous avons confirmé et étendu ceci aux années 1965 à 1967, sur lesquelles porte le bilan, par le diagramme CE $\times$ DE du coefficient d'écoulement⁶ au déficit d'écoulement (fig. 10) :

Le nuage de points représentant ces relations mensuelles se résout en trois sous-nuages correspondant à trois périodes de l'année dont les mois sont reportés en marge des encadrements fléchés. La période neutre (MAM-S), entre les périodes caractéristiques d'hiver ou d'été, est plus longue avant qu'après l'été et comprend une période neutre post hiémale (MAM) particulièrement remarquable : c'est, d'une part, un point zéro (point de passage ou encore niveau neutre) dans l'évolution d'un excédent vers un déficit des réserves géologiques — on le vérifie dans le tableau ci-après du bilan — et, d'autre part, c'est justement pendant ce laps de temps que la variation des réserves est nulle, nous venons de le voir.

C'est sur ce fait que nous basons la détermination de l'évapotranspiration *in situ* dans les bassins.

V. — LE BILAN DE L'EAU DANS LES BASSINS VERSANTS

En effet, l'équation la plus générale d'un bilan de l'eau dans un bassin versant exprime l'équilibre suivant :

$$P = Q + ET \pm dV \quad (V_1)$$

5. Test de Student appliqué aux coefficients de régression des droites de corrélation.

6. Le terme « coefficient de ruissellement » relève de l'échelle des temps de l'averse et non de l'échelle mensuelle.

entre la pluviométrie P , le débit Q , l'évapotranspiration ET et la variation dV des réserves, apports et départs souterrains extérieurs au système.

Les observations hydrogéologiques nous ont conduit à déterminer la valeur de l'évapotranspiration effective dans les bassins élémentaires par un *bilan partiel* (ou *bilan trimestriel*) portant sur le trimestre Mars-Avril-Mai. Dans la formule (V_1), en effet, si $dV = 0$, $ET = P - Q$; or au cours de ce trimestre, précisément :

- la variation des réserves géologiques est nulle;
- la variation des réserves du sol est nulle;
- les pertes sont théoriquement inexistantes (niveau neutre) ou négligeables.

Il reste encore deux points à préciser : en premier lieu il s'agit bien de volumes d'eau actuels qui interviennent (ainsi que le précisent le contexte hydrogéologique et aussi des recherches de Tritium 3H effectuées par le C.R.G. de Thonon-les-Bains, dans les eaux de sources et de rivières du bassin); en second lieu c'est bien l'évapotranspiration potentielle ETP qui est chiffrée par l'équation — et non l'ETR, puisque dans tous les cas nous avons $P > ET$ pendant ce trimestre⁷.

On peut donc écrire, en portant en indice le nom des mois⁸ :

$$P_{MAM} = ET_{MAM} + Q_{AMJ}$$

ce qui donne, pour le bassin contrôlé par la station n° II (Gouarec), une évaporation égale à :

$$ET = 231 - 96 = 135 \text{ mm.}$$

L'ETP Bouchet à Gouarec étant égale à 116 mm pendant le même temps, celle-ci sous-estime l'évapotranspiration effective de

$$\frac{135 - 116}{116} = 15 \%$$

Nous majorerons donc de 15 % les valeurs mensuelles de l'E.T. Bouchet dans ce bassin.

Les valeurs ainsi calculées se trouvent tout naturellement entre les valeurs Bouchet par le Piche (qui sous-estime l'action du vent et de l'ensoleillement) et les valeurs Penman ou Turc (qui, pour la région, sur-estiment le facteur température, sous-estiment le facteur hygrométrie⁹ et mésestiment l'ensoleillement).

7. Ceci n'est pas toujours vrai à une échelle quotidienne, voire décadaire, où l'on peut avoir une E.T. réduite < E.T.P. même lorsque l'alimentation en eau du sol est suffisante.

8. Le temps de concentration, qui rend compte du seul ruissellement, est de l'ordre de quelques heures.

9. Celle-ci atteint tous les mois un maximum absolu (valeur journalière maximum) de 100 % à Rostrenen.

A. — LE BILAN SUR TROIS ANS PAR ÉVOLUTION DES RÉSULTATS INTERMENSUELS.

1) *Hydrométrie (hydrologie de surface).*

Afin d'établir un bilan d'autant plus serré que nous voulons tirer de ses conséquences un contrôle des hypothèses structurales et des relations dans la circulation de l'eau, il nous faut posséder la mesure de tous ses éléments et non l'estimation d'un élément par différence. Nous avons fait construire les stations de jaugeage qui définissent les bassins versants élémentaires n° I, n° II, n° III, n° IV, suivant le modèle d'un court canal qui prolonge le radier et la paroi d'un pont, avec un mur transversal faisant office de contrôle (à l'exception de la station de Gouarec, cédée par E.D.F.). Elles sont équipées d'un limnimètre et d'un limni-graphe à diagramme hebdomadaire.

Guerledan (cf. planche 1) est la seule station de la région à posséder des résultats de débits sur plus de 40 ans. Son régime comparé à celui des stations I à IV, ainsi que la bonne corrélacion

10. Le coefficient de corrélation est compris entre 0,810 et 0,970, pour un intervalle de confiance à 95 %, dans la moins favorable des quatre corrélations.

tion¹⁰ entre ses débits mensuels et les débits correspondants aux stations, la rendent représentative des quatre autres. En conséquence les mesures de débit à Guerledan reflètent le caractère hydrométrique du bassin versant général; on fera, fig. 11, les mêmes observations qu'à propos de la pluviométrie pendant le même laps de temps. Nous n'y reviendrons pas. On voit, en outre, que le minimum mensuel des débits est déphasé d'un mois par rapport au minimum pluviométrique; ceci se produit encore en chacune des quatre autres stations et pour chacune des quatre années de mesure. Il existe un déphasage d'un mois entre les résultats de P et de Q, qui rend compte d'un temps d'écoulement moyen (entre la vitesse lente de l'eau dans l'altération fine et la vitesse rapide dans les fissures, pour schématiser) de l'eau souterraine. Nous tenons compte de ce déphasage dans les relations mensuelles pluie débit.

2) *Le bilan.*

Nous possédons à ce stade des valeurs réelles qui concernent P, Q, ETP et le maximum des réserves du sol.

Nous pouvons dès lors calculer le bilan pour l'année :

TABLEAU 3
Bilan mensuel interannuel 1965-1966-1967
Stations de Gouarec (BV I et II) — Moyenne en mm

		J ₁	F ₂	M ₃	A ₄	M ₅	J ₆	J ₇	A ₈	S ₉	O ₁₀	N ₁₁	D ₁₂	
1	P	105	84	72	74	85	54	25	63	97	111	116	157	1 043
2	ETP	7	14	29	48	58	63	74	66	43	30	15	10	457
3	P-ETP	98	70	43	26	27	-9	-49	-3	54	81	101	147	Pr = 61
4	RSD	92	92	92	92	92	83	34	31	85	92	92	92	
5	D PES	98	70	43	26	27	0	0	0	0	74	101	147	586
6	DET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	Q _d	65	60	42	35	19	9	7	10	13	40	84	82	466
8	DPES - Q _d	33	10	1	-9	8	-9	-7	-10	-13	34	17	65	- 39 - 9 +159 +9
9		++	++	==	==	==	---	---	---	---	++	++	++	

P = Pluviométrie — ETP = Evapotranspiration potentielle Bouchet majorée — RSD = réserves du sol disponibles. La réserve maximum du sol, RMS est égale à 92 mm dans les terrains contrôlés par la station de jaugeage de Gouarec. DPES = Différence pluviométrie-évaporation-sol. C'est le solde de la pluviométrie — éventuellement augmentée du prélèvement sur la réserve du sol (mois de Juin) — et de l'évaporation ou encore dans certains cas (Septembre-Octobre) le solde entre la pluviométrie et l'évaporation, cette dernière étant augmentée de la variation positive de la

réserve du sol. C'est, pratiquement, la quantité d'eau qui reste disponible pour l'alimentation du débit. La DPES est nulle lorsque ETP > P et que l'évaporation puise dans les réserves du sol ou que celles-ci sont épuisées : lorsque ces réserves sont épuisées le nombre qui traduit la fraction non satisfaite de l'évapotranspiration potentielle (déficit d'évapotranspiration, DET) est reporté dans le mois correspondant, sur la ligne DET. La différence ETP-DET est tout naturellement la valeur de l'évapotranspiration réelle ETR. Enfin Q_d est le débit déphasé d'un mois.

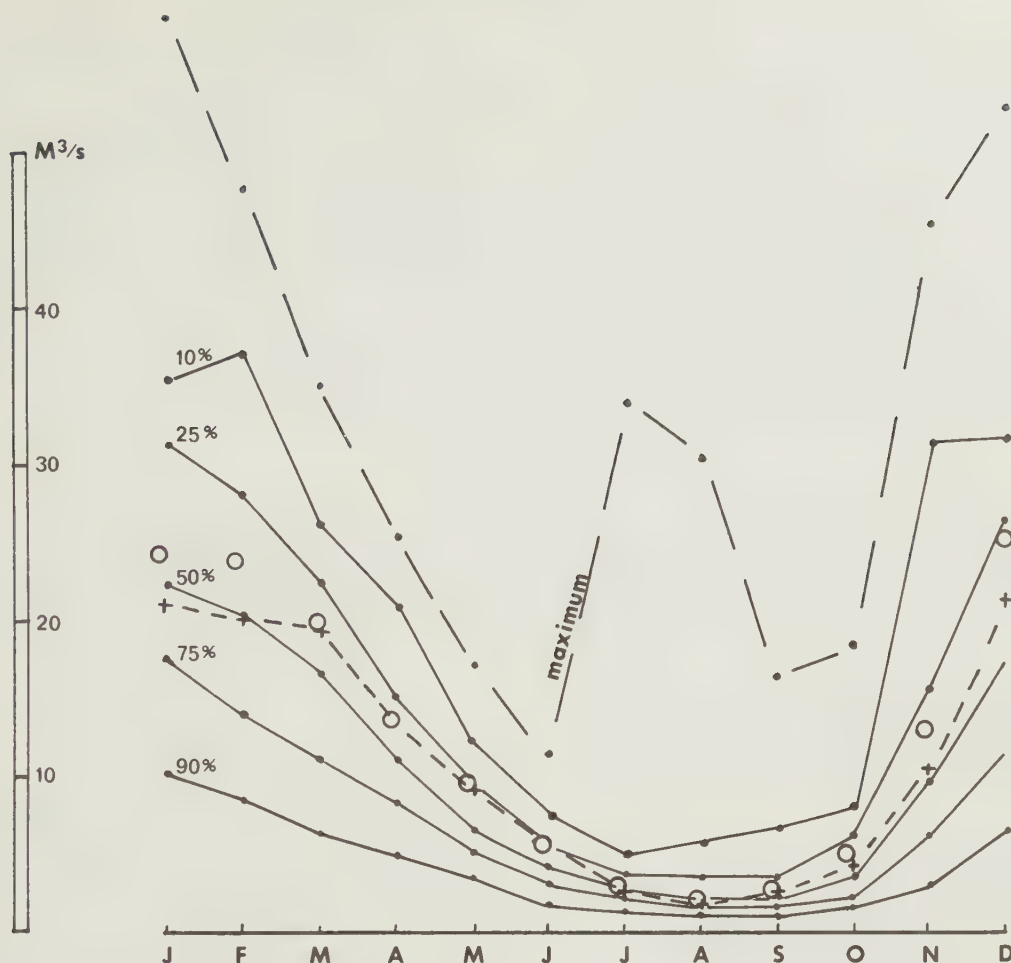


FIGURE 11

Les débits à Guerledan (m^3/s) pour la période 1928-1967.

Fréquence des valeurs mensuelles dépassées.

+ moyenne 1964-1967; o moyenne 1965-1967.

Les débits, pour la période du bilan étudiée, se classent entre 50 et 25 % des valeurs dépassées avec, comme dans le cas de la pluviométrie (planche 2), un décrochement en été. Minimum en août.

B. — INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS.

1) *Evapotranspiration.*

Le DET toujours égal à zéro signifie que l'évapotranspiration réelle ne se manifeste pas. On a donc $ETR = ETP$ pour la moyenne sur 3 ans de résultats qui relèvent d'une période pluviométrie-débit « moyenne supérieure » (voir § III A). Il en est de même dans le bilan hydrique aux trois autres stations. Nous avons pu constater par des bilans à l'échelle mensuelle non interannuelle qu'il se produisait en certains cas une $ETR < ETP$: ces moyennes mensuelles interannuelles sur 3 ans émoussent suffisamment pointes et minima de l'évaporation et de la pluviométrie pour que la manifestation de ETR n'apparaisse plus dans les

calculs. Mais on retiendra que cette ETR est encore assez proche de ETP.

2) *Les réserves géologiques.*

La différence DPES-Qd représente la seule variation des réserves du sous-sol (ligne 8 et 9). Elle rend compte :

- d'un trimestre d'équilibre ou trimestre neutre (signe =, ligne 9) ;
- de quatre mois déficitaires (signe —) pendant lesquels la résultante des apports et des départs d'eau dans le bassin considéré est telle que tout se passe comme si le débit était alimenté uniquement par la réserve géologique ;
- de cinq mois excédentaires (signe +).

Ce dernier point mérite quelques commentaires. Au cours de ces cinq mois (159 mm), il se produit en un premier temps une reconstitution de la réserve géologique entamée pendant la période déficitaire précédente qui a prélevé 39 mm. Il reste donc $159 - 39 = 120$ mm d'eau — soit $1/4$ du débit annuel à la station II — qui disparaissent au plus tard pendant la période neutre, par un processus différent de l'évaporation ou de l'écoulement. On peut envisager une variation positive des réserves géologiques Rg mais dans ce cas le cumul des excédents d'hiver conduirait à un débordement systématique des nappes, ce qui n'est pas. Il reste la

seule explication théoriquement valable : les *pertes par le bassin versant* en période de hautes eaux au moins. Ceci est pratiquement impossible à mesurer sur le terrain : c'est la seule convergence des conclusions aux chapitres qui traitent de la structure des bassins et de la circulation de l'eau qui permet de l'affirmer. La corrélation lysimètre $\times$ bassin versant que nous avons évoquée au § IV le fait encore apparaître.

3) Les résultats.

Les résultats obtenus aux différentes stations sont les suivants : (en 10^6 m³)

TABLEAU 4

Bassin élémentaire	ET annuelle	Réserve utile maximum du sol	DPES - Q _d	
			Période déficitaire	Période excédentaire
B.V.I	50,6	7,8	- 5,9	+ 13,6
B.V.I + II	159,0	31,3	- 13,3	+ 54,2
B.V. III	159,6	41,0	- 9,2	+ 43,3
B.V. IV	24,5	3,8	- 1,5	+ 8,3

4) Les pertes — calcul d'erreur.

Dans le bilan du tableau 3 le reliquat dépend :
— en période excédentaire ou neutre de

$$P - ET - Q$$

— en période déficitaire de Q;

or :

- P et Q admettent une erreur moyenne respectivement égale à 10 % et 5 %;
- ET relève des résultats Piche, obtenus par deux lectures. L'erreur absolue est de 1 division (soit $1/10$ de mm), on peut considérer la valeur lue en mm comme dénuée d'erreur. ET effective est obtenue à partir d'une faible majoration des résultats Piche et l'erreur sur ET reste négligeable, soit ε .

On a, en définitive, pendant la période excédentaire une erreur de $\pm (10 + \varepsilon + 5) = \pm 15$ % et, pendant la période déficitaire, ± 5 %, et la différence entre le volume excédentaire et le volume déficitaire (donc la perte) reste significative puisqu'elle est égale, elle, à 25 % du volume annuel.

C. — EXPLOITATION DES RÉSULTATS.

On observera que la réserve utile maximum du sol se chiffre encore en millions de m³ dans le plus petit des bassins. Les nappes aquifères exploitables

économisent de ce fait un volume d'eau plus important qu'on ne l'imagine *a priori*.

1) Les réserves géologiques.

L'année hydrogéologique est susceptible d'être sériée en périodes excédentaire, neutre ou déficitaire; on peut distinguer, dans les réserves non permanentes¹¹, un volume d'épuisement à partir d'un niveau neutre (qui correspond au passage de la période excédentaire à la période déficitaire) et un volume de constitution comprenant un volume de reconstitution des réserves, un volume de pertes ainsi qu'un volume de participation au débit et à la variation éventuelle des réserves permanentes (fig. 12).

2) L'infiltration annuelle.

L'infiltration IF, quelles que soient les variations de ET, R ou p (fig. 6) est égale pour un ruissellement RU et une pluviométrie P à : $IF = P - RU$ or tout se passe dans les chiffres de l'évolution mensuelle du bilan (tableau III) comme si le débit annuel relevait uniquement des réserves en période déficitaire et du ruissellement en période excédentaire. En conséquence $Q = RU + DF$ (nous appelons déficit DF la somme des valeurs mensuelles en période déficitaire), $RU = Q - DF$.

11. Ou réserves régulatrices, G. Castany, 1968.

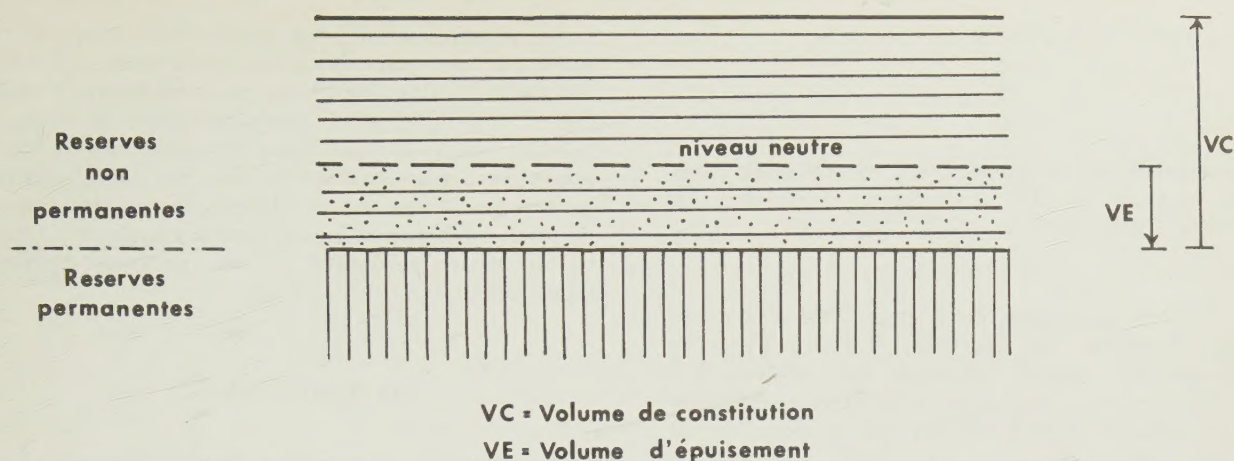


FIGURE 12

Evolution des réserves hydriques non permanentes dans un bassin versant.

Les réserves géologiques non permanentes se résolvent en un volume d'épuisement (VE) et en un volume de constitution (VC) à partir d'un niveau neutre marquant le passage des réserves excédentaires aux réserves déficitaires.

Ainsi, $IF = P + DF - Q = 616$ mm à Gouarec, et l'infiltration relative est :

$$IF_r = \frac{616}{1043} = 0,59$$

Nous obtenons de même des IF_r égales à 0,56 dans le cas des BV I ou IV et à 0,65 dans le BV III (schistes). Appliquées au BV II, et pondérées par la proportion de schistes et de granites, ces valeurs, établies indépendamment du BV II, donnent très précisément 0,59. Cette méthode de bilan est fidèle et on peut considérer cette fidélité comme un test de contrôle.

3) Les coefficients géopédologiques.

Nous avons appelé déficit relatif DF_r , l'expression

$$DF_r = \frac{12 \cdot DF_m}{P_a}$$

dans laquelle DF_m est le déficit mensuel moyen pour un bassin (ou un substratum) et P_a la pluviométrie annuelle. Nous obtenons ainsi, en % les coefficients géopédologiques suivants :

	Granite	Granulite	Schiste	Substratum mixte
$DF_r =$	15,5	11,2	8,8	10,1

ce coefficient est tout naturellement moins élevé dans les granulites, au caractère pédogranulométrique plus fin et *a fortiori* dans les schistes.

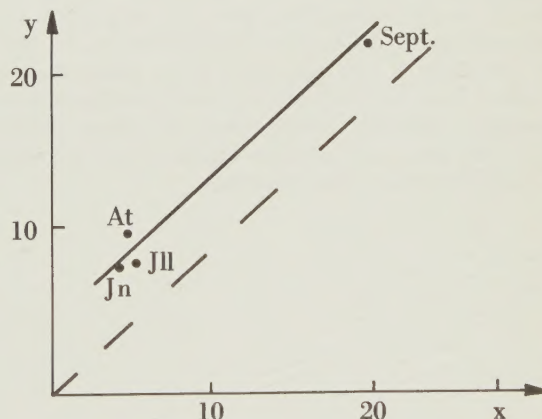
On peut dès lors calculer le déficit relatif intermédiaire dans une région selon la proportion des

terrains. C'est ainsi que pour l'ensemble du massif armoricain le DF_r est égal à 11,4 % d'où un DF_m de 8,8 mm et un volume moyen de réserves géologiques non permanentes égal à $1,6 \cdot 10^9$ m³, soit trois fois plus que les besoins.

La significativité des coefficients géopédologiques

— Les débits dans le BV III étant significativement différents des débits dans les bassins granitiques alors que ceci ne se vérifie pas pour la pluviométrie (§ IV), le rôle du substratum devient significatif et la valeur des coefficients géopédologiques l'est aussi.

— On peut encore le démontrer d'une autre manière :



Ces coefficients relèvent du reliquat négatif :

$$R_1 = DPES - Q_a$$

Rapporté à la pluviométrie annuelle,

$$\frac{Rl}{P_a} = L$$

La corrélation ci-dessus entre les reliquats mensuels moyens du BV I ($L_i = y$) et du BV III ($L_{III} = x$) est linéaire selon l'équation

$$y = x + 6$$

La valeur maximum de y étant 24,4 l'excédent de 6 représente un écart de $6/24,4 = 25\%$ au minimum des valeurs obtenues aux stations S I et S III. Cet écart est supérieur à l'erreur commise sur les mesures (dans le cas du déficit, c'est l'erreur sur Q) (tableau 3), donc significatif.

VI. — CONCLUSION

Les sciences de la Terre rendent à l'Environnement son rôle réel, qu'il convient de ne pas sous-estimer ni surestimer. Elles revêtent à propos du cycle de l'eau dans un bassin versant, une importance toute particulière, par une contribution directe et une contribution indirecte.

L'apport direct réside dans la définition physico-chimique du substratum, dans l'extrapolation des résultats particuliers à un ensemble naturel cohérent (d'où un gain en crédits, en personnel et en temps), dans des déterminations (réserves du sol, « cartes » de certains facteurs : lithologie, zones géomorphologiques, hydrogéologie...).

L'apport indirect est d'autant plus important que les spécialisations scientifiques elles-mêmes tendent nécessairement à se polariser et à se cloisonner. Cet apport intervient dès la conception du travail en induisant une organisation naturelle et souple de la recherche; puis en imposant des liaisons entre les différentes disciplines et la référence constante à « la physique » des phénomènes, c'est-à-dire leur mécanisme et leurs relations avec le contexte naturel; enfin dans la phase finale il intervient plus précisément encore pour développer l'interprétation des résultats.

La détermination des coefficients géopédologiques par ce type de bilan reste essentiellement adaptable à des conditions géopédologiques différentes. On peut ainsi envisager, par la suite, la prospection hydrogéologique systématique de vastes territoires par extrapolations et interpolations successives. Dans ces conditions le développement de l'informatique et de ses dérivées apporte — est-il besoin de le souligner — un concours extrêmement précieux.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance, pour leur avis ou leur assistance, à Mlles S. Duplaix, A.-M. Mangin, MM. G. Aubert, M. Bellec, M. Belot, G. Castany, A. Combeau, M. Coppenet, J. Dunglas, L. Glangeaud, G. Guyon, R. Keller, Ph. Lion, G. Lucas, Y. Manac'h, J. Michet, M. Neveu, Ph. Olive, J. Perrin, M. Rolland, J.-P. Sagon, R. Talureau, J.-R. Tiercelin, ainsi qu'aux Directions du C.E.R.A.F.E.R., de l'E.D.F. et de l'I.N.R.A.

BIBLIOGRAPHIE

- CASTANY G. (1968). — *Prospection et exploitation des eaux souterraines*, Dunod, Paris.
- COGNE J. (1960). — Schistes cristallins et granites en Bretagne Méridionale. Thèse d'Etat — Paris. — Mém. pour servir explication étude carte géol. dét. de la France.
- COPPENET M. et RAMPON A. (1967). — Contribution à l'étude des sols granitiques et schisteux de Bretagne. Le bassin versant du Blavet. *Annales agronomiques*, 18 (5), 455-484, Versailles.
- FONTAINE P. (1964). — Considérations sur le bilan hydrologique. *Monographie Météo Nationale*, n° 37, Paris.
- RAMPON A. (1969). — Mesures de pendage et de directions de fracture dans des granites. Considérations théoriques et application à la circulation souterraine de l'eau. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.* (2), vol. XI, fasc. 2, p. 177-188, Paris.

Manuscrit déposé le 24 juin 1971.

